

# 安徽某低品位铜锌多金属矿工艺矿物学研究\*

方明山, 李艳峰, 付强

(北京矿冶科技集团有限公司, 北京 102628)

**摘要:**安徽某低品位铜锌多金属矿石中锌、铜、铁和硫的品位分别为 1.93%、0.35%、7.85%、4.03%;金品位为 1.01 g/t,银品位为 13.05 g/t。为合理开发利用该资源,对该矿石开展了系统的工艺矿物学研究,查明了各有价金属元素的赋存状态、各目的矿物的嵌布特征和嵌布粒度,以及影响它们回收的最主要因素,为确定合理的工艺流程、实现其综合回收提供了理论依据。采用优先选铜、铜中矿再磨精选,锌硫混选再分选的原则流程,并将金、银富集于铜精矿中,实现了矿石中锌、铜、硫以及金、银的综合回收。

**关键词:**低品位;多金属;工艺矿物学;综合回收;铜;锌

**中图分类号:**TD91 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0076(2019)05-0140-06

**DOI:**10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.04.050

## Study on the Process Mineralogy of a Low Grade Cu - Zn Polymetallic Ore in Anhui Province

FANG Mingshan, LI Yangfeng, FU Qiang

(Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy Technology Group, Beijing 102628, China)

**Abstract:** The grade of zinc, copper, iron sulfur, gold and silver in a low - grade copper - zinc polymetallic ore is 1.93% , 0.35% , 7.85% 4.03% , 1.01 g/t and 13.05 g/t, respectively. In order to exploit and utilize this resource reasonably, systematic process mineralogy research has been carried out. The occurrence state of various valuable metal elements, the dissemination characteristics and dissemination size of various minerals, as well as the most important factors affecting the recovery had been found out, which provided a theoretical basis for determining reasonable process flow and realizing the comprehensive recovery. The comprehensive recovery of zinc, copper, sulfur and gold and silver in ore was obtained by the process of “preferential copper selection - copper middlings regrinding and cleaning - mixed sorting and resorting of zinc and sulfide - enrichment of gold and silver in copper concentration”.

**Key words:** low - grade; polymetallic; process mineralogy; comprehensive recovery; copper; zinc

随着矿产资源的不断开发利用,矿产资源开发日益趋于枯竭,目前整个矿业领域所面临的矿石资源日趋贫化,原矿元素品位越来越低,目的矿物嵌布关系复杂、粒度嵌布不均匀,有价元素的综合回收难度越来越大<sup>[1-7]</sup>。矿石中有价元素综合回收方案的选择和确定,是以有价元素的赋存状态、目的矿物的

嵌布特征等工艺参数为依据的。因此,对矿石尤其是低品位矿石开展系统的工艺矿物学研究,对于提高资源综合利用率、提升矿山企业的经济效益来说是非常重要的<sup>[8-9]</sup>。

安徽某矿石属于与燕山晚期隐爆斑岩体侵入活动相关的浅成热液充填交代 - 斑岩型矿床,其中锌、

\* 收稿日期:2019-08-14

作者简介:方明山,男,安徽六安人,教授级高级工程师,硕士,从事工艺矿物学研究, E-mail: fangmingshan@bgrimm.com。

铜、铁和硫的品位分别为 1.93%、0.35%、7.85%、4.03%；金品位为 1.01 g/t，银品位为 13.05 g/t；各种有价金属元素含量均较低，为低品位铜锌多金属矿<sup>[10]</sup>。为合理开发利用该矿石资源，对该矿石开展了系统的工艺矿物学研究，为确定合理的工艺流程、实现其中有价多金属元素的综合回收提供了理论依据<sup>[11-13]</sup>。

## 1 矿石的化学组成

矿石的化学组份分析结果见表 1。

表 1 矿石的化学分析结果

Table 1 Chemical analysis results of the ore

Component	Cu	Zn	Pb	Fe	S	Au	Ag
Content/%	0.35	1.93	0.092	7.85	4.03	1.01	13.05
Component	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	C
Content/%	20.43	1.63	4.06	36.21	1.33	0.22	17.23

注: Au、Ag 单位为 g/t。

## 2 矿石中锌、铜、铁的化学物相分析

对 -0.074 mm 占 100% 的矿石样品中的锌、铜、铁元素进行了化学物相分析<sup>[14]</sup>，其结果见表 2~表 4。结果显示，矿石中的铜、锌均以硫化物的形式存在，铁则主要赤、褐铁矿和硫化铁的形式存在，少量以碳酸铁的形式产出，以其他形式产出的铁含量较低。

表 2 锌的化学物相分析结果

Table 2 Phase analysis results of zinc in the ore

Phase	Oxidized zinc	Zinc sulfide	Total
Zn Content/%	0.11	1.87	1.98
Distribution/%	5.56	94.44	100.00

表 3 铜的化学物相分析结果

Table 3 Phase analysis results of copper in the ore

Phase	Free	Secondary	Primary	Bound	Total
	oxidized	copper	copper		
	copper	sulfide	sulfide	copper	
Cu Content/%	0.003	0.070	0.270	0.014	0.357
Distribution/%	0.84	19.61	75.63	3.92	100.00

表 4 铁的化学物相分析结果

Table 4 Phase analysis results of iron

Phase	Magnetic iron	Ferric carbonate	Hematite	Iron sulfide	Ferric silicate	Total
			and limonite			
Fe Content/%	0.13	1.31	3.30	2.64	0.51	7.89
Distribution/%	1.65	16.60	41.83	33.46	6.46	100.00

## 3 矿石的矿物组成

矿石中主要的矿物组成及含量见表 5。

表 5 矿石的矿物组成及相对含量

Table 5 Mineral composition and relative content of the ore

Mineral name	Content/%	Mineral name	Content/%
Sphalerite	3.00	Calcite	34.56
Chalcopyrite	0.82	Quartz	25.00
Bornite	0.09	Sericite	7.15
Chalcocite	0.02	Actinolite	4.78
Pyrite	4.95	Orthosite	5.16
Marcasite	4.95	Oligoclase	0.43
Hematite	4.71	Albite	0.31
Magnetite	0.18	Kaolinite	3.34
Galena	0.11	Garnet	3.03
Rutile	0.17	Talc	1.87
Pyrrhotite	0.03	Other	0.32

## 4 矿石中锌、铜、铁、金及银的赋存状态

矿石中的锌以独立矿物闪锌矿的形式存在。矿石中的铜以黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿及微量的黝铜矿和铜蓝等独立矿物形式存在(表 6)。矿石中的铁主要赋存在赤铁矿中，其次赋存于黄铁矿、方解石等矿物中，其中以磁铁矿形式存在的铁仅为 1.64% (表 7)。可见，在目前的经济条件下，矿石中的铁没有综合回收价值。

表 6 铜在不同矿物中的分布率

Table 6 Distribution of copper in different minerals

Mineral name	Mineral content/%	Cu content/%	Cu metal content/%	Distribution /%
Chalcopyrite	0.82	34.56	0.283	79.52
Bornite	0.09	63.33	0.057	15.99
Chalcocite	0.02	79.86	0.016	4.49
Total	-	-	0.356	100.00

表 7 铁在不同矿物中的分布率

Table 7 Distribution of iron in different minerals

Mineral name	Mineral content/%	Fe content /%	Fe metal content/%	Distribution /%
Hematite	4.71	69.00	3.250	41.04
Pyrite	4.95	46.55	2.304	29.10
Calcite	34.56	3.88	1.341	16.93
Garnet	3.03	14.02	0.425	5.36
Chalcopyrite	0.82	30.52	0.250	3.16
Magnetite	0.18	72.00	0.130	1.64
Actinolite	4.78	2.23	0.107	1.35
Sphalerite	3.00	2.78	0.083	1.05
Bornite	0.09	11.12	0.010	0.13
Pyrrhotite	0.03	63.53	0.019	0.24
Total			7.92	100.00

矿石中的金主要分布在自然金中，其次分布在银金矿中，另外分布在微量的杂碲金银矿和金银矿中(表 8)。矿石中的银主要分布在碲银矿中，其次分布在硒银矿和自然银中，另外分布在微量的硒铋银矿和辉银矿中(表 9)。

表 8 金的分布状态

Table 8 Distribution of gold in different minerals

Mineral name	Relative content of Au - minerals/%	Au Distribution/%
Natural gold	95.27	96.36
Electrum	3.70	3.16
Muthmannite	0.19	0.42
Kustelite	0.84	0.06

表 9 银的分布状态

Table 9 Distribution of silver in different minerals

Mineral name	Relative content of Ag - minerals/%	Ag Distribution/%
Hessite	92.78	92.29
Naumannite	3.35	3.88
Natural Silver	1.58	2.50
Aguilarite	1.98	0.89
Argentite	0.31	0.43

## 5 矿石中重要矿物的嵌布特征及粒度分布特性

### 5.1 锌矿物

矿石中的锌矿物是闪锌矿,为要回收的目的矿物。闪锌矿常以不规则粒状或粒状集合体形式产出(图 1);部分包裹乳滴状黄铜矿呈固溶体分离结构产出(图 2);有时沿脉石等晶粒间隙充填呈网脉状产出;有时与黄铜矿、斑铜矿或辉铜矿镶嵌呈共结边结构产出;另有少量与黄铁矿或方铅矿共边或互含产出;也可见赤铁矿呈不规则状嵌布在闪锌矿中,或沿闪锌矿等硫化物边缘呈镶边结构产出。闪锌矿的 X-射线能谱分析结果见表 10。结果显示,该矿石中的闪锌矿为含铁闪锌矿<sup>[15]</sup>,这部分 Fe 以类质同象形式赋存于闪锌矿中,物理方法无法脱除,对最终锌精矿的品位会造成一定的影响。闪锌矿的粒度分布特征见图 3,结果显示闪锌矿的嵌布粒度整体较粗。

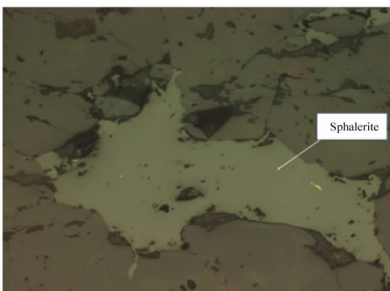


图 1 不规则粒状闪锌矿  
Fig. 1 Irregular granular sphalerite disseminated in gangue minerals

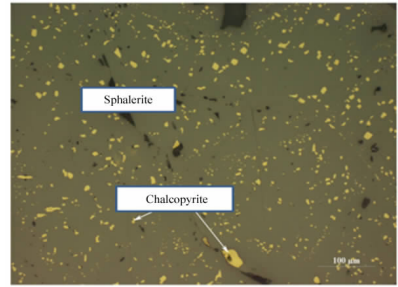


图 2 闪锌矿包裹乳滴状黄铜矿  
Fig. 2 Milk drop-shaped chalcopyrite wrapped in sphalerite

表 10 闪锌矿的 X-射线能谱数据分析结果  
Table 10 X-ray energy spectrum analysis results of sphalerite

Points	Zn/%	S/%	Fe/%	Total/%
1	65.27	32.93	1.79	100.00
2	65.41	32.71	1.88	100.00
3	64.22	34.47	1.31	100.00
4	63.55	33.14	3.30	100.00
5	58.83	33.19	7.98	100.00
6	63.99	33.10	2.91	100.00
7	62.99	33.27	3.74	100.00
8	61.27	33.20	5.53	100.00
9	66.11	32.97	0.92	100.00
10	64.82	32.78	2.40	100.00
11	64.52	33.55	1.93	100.00
12	64.17	33.85	1.98	100.00
13	64.47	32.55	2.97	100.00
14	64.73	32.97	2.30	100.00
15	65.61	32.82	1.57	100.00
16	64.28	32.68	3.04	100.00
17	64.02	33.05	2.93	100.00
18	63.68	33.07	3.25	100.00
19	64.48	32.94	2.57	100.00
20	64.46	33.41	2.13	100.00

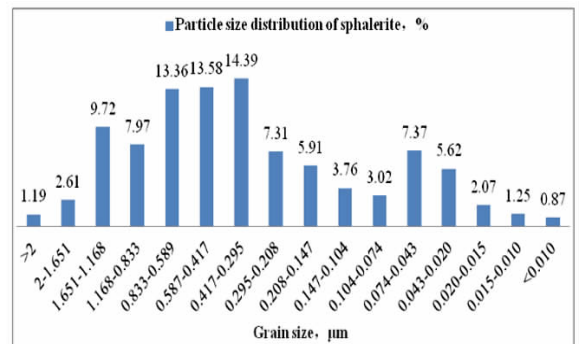


图 3 闪锌矿粒度分布  
Fig. 3 Particle size distribution of sphalerite

### 5.2 铜矿物

矿石中的铜矿物主要为黄铜矿,其次为斑铜矿及少量的辉铜矿及微量的黝铜矿、铜蓝等。黄铜矿主要以不规则粒状嵌布在脉石矿物中(图4);部分在闪锌矿中呈细粒、微细粒包裹体形式产出;少量沿黄铁矿的晶粒间隙或裂隙充填呈不规则粒状结构或脉状结构产出(图5);有时可见黄铜矿呈细粒、微细粒包体嵌布在赤铁矿中,或赤铁矿沿其边缘呈复杂的镶边结构产出;偶见黄铜矿沿脉石裂隙充填呈脉状结构产出。辉铜矿主要以粒状嵌布在脉石矿物中(图6);有时与闪锌矿以共边结构形式产出,或互含嵌布在脉石中;少量呈细粒包体嵌布在赤铁矿中。斑铜矿主要以不规则粒状嵌布在脉石矿物中(图7);有时与黄铜矿、辉铜矿或闪锌矿镶嵌呈共边结构产出,或互含复杂共生;少量与赤铁矿共生。黝铜矿和铜蓝含量相对低,均主要以粒状嵌布在脉石矿物中;有时与黄铜矿或黄铁矿嵌布在在一起;偶见与闪锌矿共生产出。

由于黄铜矿、斑铜矿以及辉铜矿等硫化铜矿物都是铜回收的目的矿物,所以应该作为一个整体来进行研究。因此,将黄铜矿、斑铜矿和辉铜矿等硫化铜矿物作为一个集合体进行粒度的测量统计,粒度分布结果见图8。

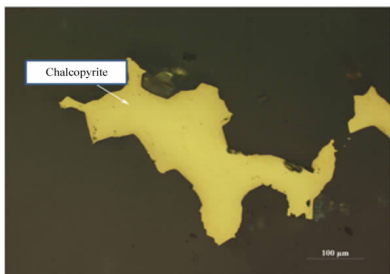


图4 不规则粒状黄铜矿

Fig.4 Irregular granular chalcopyrite disseminated in gangue minerals

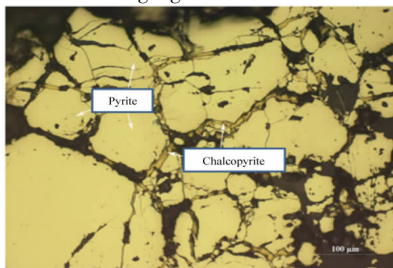


图5 黄铜矿沿黄铁矿裂隙充填成脉状产出

Fig.5 Veined chalcopyrite produced along the pyrite fracture

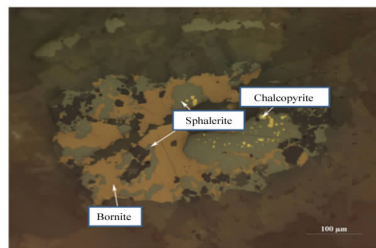


图6 斑铜矿与闪锌矿复杂共生产出

Fig.6 Bornite and sphalerite produced in complex symbiotic relationship

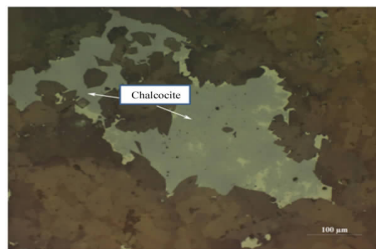


图7 辉铜矿呈不规则粒状产出

Fig.7 Chalcoite produced in irregular granular form

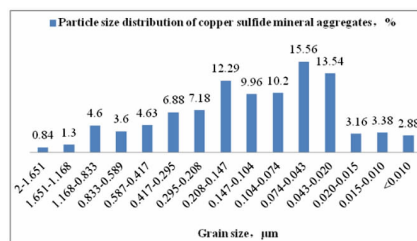


图8 硫化铜矿物集合体粒度分布

Fig.8 Particle size distribution of copper sulfide mineral aggregates

### 5.3 金矿物

矿石中的金矿物主要为自然金,其次银金矿,另有微量的杂碲金银矿及金银矿等。自然金等金矿物主要以粒间金的形式产出(图9),其次为包裹金(图10),另有少量的裂隙金。矿石中金矿物的产出特征和粒度分布特征见表11和图11。



图9 自然金嵌布在脉石颗粒之间

Fig.9 Nature gold disseminated in gangue minerals

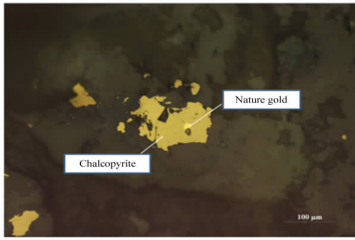


图 10 黄铜矿中包裹的粒状自然金

Fig. 10 Granular nature gold disseminated in chalcopyrite

表 11 金矿物的产出特征

Table 11 The output characteristics of the gold minerals

Types of gold output	Intergrowth relationship	Distribution	
		/%	Total /%
Fissure gold	Sphalerite fissure	7.22	8.03
	Gangue fissure	0.81	
Intergranular gold	Sphalerite and pyrite	3.19	55.16
	Sphalerite and other sulfides	0.50	
	Copper Sulfide Minerals and pyrite	0.24	
	Sphalerite and gangue	33.53	
	Hematite and gangue	13.74	
	Copper Sulfide Minerals and gangue	3.36	
	Pyrrhotite and gangue	0.61	
Inclusion gold	Sphalerite encapsulation	10.21	36.81
	Chalcopyrite encapsulation	7.56	
	Pyrite encapsulation	1.04	
	Gangue encapsulation	18.00	

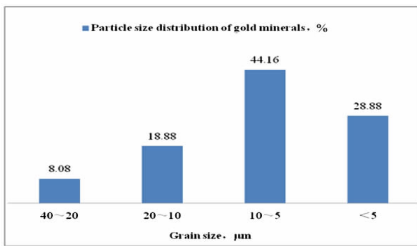


图 11 金矿物粒度分布

Fig. 11 Particle size distribution of gold minerals

### 5.4 银矿物

矿石中银矿物主要为碲银矿,其次为少量的硒银矿,另有微量的自然银、辉银矿、硒铋银矿等,都是要回收的对象。银矿物主要呈粒状以粒间银和包裹银形式产出(图 12)。银矿物的产出特征和粒度分布特征见表 12 和图 13。

### 5.5 黄铁矿

黄铁矿是矿石中的最主要硫化物。黄铁矿主要呈不规则状产出(图 14、图 15);少量呈自形、半自形结构及压碎结构;偶呈残余结构;可见黄铁矿与黄铜矿镶嵌呈共生边结构产出,也可见黄铁矿孔洞和裂隙被黄铜矿或脉石等充填呈粒状或脉状;在部分粗粒黄铁矿颗粒中有细粒的闪锌矿或方铅矿分布;

有时与赤铁矿共生在脉石中产出。矿石中黄铁矿的粒度分布结果见图 16。

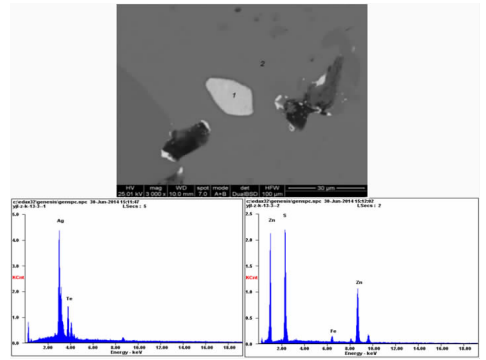


图 12 闪锌矿中包裹的碲银矿

Fig. 12 Hessite disseminated in sphalerite

表 12 银矿物的产出状态

Table 12 The output characteristics of the silver minerals

Types of silver output	Intergrowth relationship	Distribution	
		/%	Total /%
Inclusion silver	Sphalerite encapsulation	17.65	
	Chalcopyrite encapsulation	7.18	45.79
	Pyrite encapsulation	1.28	
	Gangue encapsulation	19.68	
Intergranular silver	Pyrite and gangue	9.26	
	Chalcopyrite and gangue	21.48	
	Chalcopyrite and sphalerite	3.22	
	Sphalerite and pyrite	1.93	47.58
	Sphalerite and gangue	10.47	
Fissure silver	Hematite and gangue	1.04	
	Gangue intergranular	0.18	
	Pyrite fissure	5.84	
	Chalcopyrite fissure	0.79	6.63

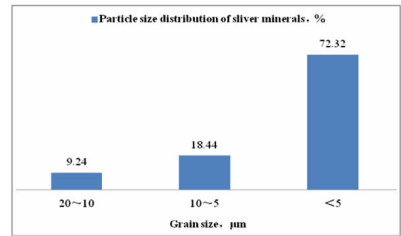


图 13 银矿物粒度分布

Fig. 13 Particle size distribution of silver minerals

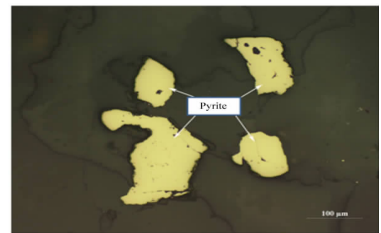


图 14 粒状产出的黄铁矿

Fig. 14 Irregular granular pyrite disseminated in gangue minerals

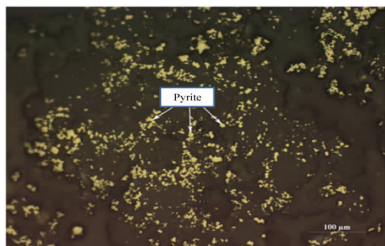


图 15 黄铁矿以细粒、微细粒嵌布在脉石矿物中  
Fig. 15 Fine and micro-fine pyrite disseminated in gangue minerals

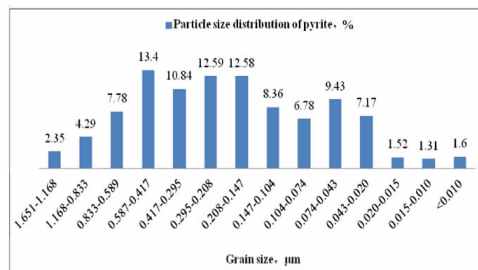


图 16 黄铁矿粒度分布  
Fig. 16 Particle size distribution of pyrite

## 6 磨矿产品中目的矿物的解离特征

对-0.074 mm 占 60%、65%、70%、75% 和

80% 五个磨矿细度产品中的闪锌矿、硫化铜矿物集合体及黄铁矿的解离度进行了系统的测定,结果见表 13~表 15。

结果显示闪锌矿在磨矿细度在-0.074 mm 占 60% 时,解离度为 80.93%,已经相对比较充分;当磨矿细度为-0.074 mm 占 65% 时,黄铁矿的单体解离度也达到 80.73%,解离也相对比较充分;但对黄铜矿和斑铜矿等硫化铜矿物集合体而言,在磨矿细度为-0.074 mm 占 80% 时,单体解离度也只有 66.34%,单体解离效果较差,还需要进一步的细磨。

表 13 不同磨矿细度下闪锌矿的解离度测定结果  
Table 13 The liberation of sphalerite under different grinding fineness

-0.074 mm Occupancy /%	Free particle /%	Associated with Copper Sulfide Minerals /%	Associated with pyrite /%	Associated with other minerals /%
60	80.93	2.05	0.50	16.52
65	82.55	1.95	0.19	15.31
70	84.77	1.89	0.18	13.16
75	85.71	1.85	0.12	12.32
80	87.60	1.71	0.04	10.65

表 14 不同磨矿细度下硫化铜矿物集合体的解离度测定结果  
Table 14 The liberation of copper sulfide minerals under different grinding fineness

		-0.074 mm Occupancy /%	60	65	70	75	80
Free particle /%			49.65	55.36	59.55	63.4	66.34
Locked particle /%	Associated with gangue	Lean - intergrowth	13.83	15.62	15.55	15.23	15.17
		Rich - intergrowth	21.81	16.21	13.33	10.92	9.43
	Inclusions of chalcopyrite in Gangue		5.02	3.98	3.32	2.40	1.27
	Associated with sphalerite	Lean - intergrowth	3.39	3.29	3.10	3.08	3.01
		Rich - intergrowth	2.36	2.32	2.18	2.14	2.12
	Inclusions of chalcopyrite in sphalerite		2.01	1.97	1.93	1.87	1.83
Associated with pyrite	Lean - intergrowth	0.32	0.33	0.33	0.37	0.44	
	Rich - intergrowth	1.46	0.83	0.66	0.55	0.36	
Inclusions of chalcopyrite in pyrite		0.15	0.09	0.05	0.04	0.03	

表 15 不同磨矿细度下黄铁矿的解离度测定结果  
Table 15 The liberation of pyrite under different grinding fineness

-0.074 mm Occupancy /%	Free particle /%	Associated with copper sulfide minerals /%	Associated with sphalerite /%	Associated with other minerals /%
60	77.43	1.28	0.28	21.01
65	80.73	1.15	0.27	17.85
70	83.07	0.70	0.26	15.97
75	88.02	0.23	0.25	11.50
80	89.64	0.20	0.23	9.93

可见,由于铜、锌、硫矿物的粒度差异较大且分布不均,导致在同一磨矿细度下,闪锌矿、硫化铜矿物集合体和黄铁矿的单体解离程度相差很大,所以建议采用选择阶段磨矿阶段选别的工艺流程。

## 7 结论

(1) 矿石中锌、铜、铁和硫的品位分别为 1.93%、0.35%、7.85%、4.03%,金的品位为 1.01g/t,银的

析[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(1): 160 - 163.

[20] 强建华. 陕西省尾矿库遥感调查与环境影响分析[J]. 金属矿山, 2013, 42(10): 112 - 115.

[21] 方雪娟, 丁镭, 张志. 大冶陈贵镇小型尾矿库分布特征及环境影响分析[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(1): 155 - 159.

[22] 郝利娜, 张志, 何文熹, 等. 鄂东南尾矿库高分辨率遥感图像识别因子研究[J]. 国土资源遥感, 2012, 24(3): 154 - 158.

[23] 星球地图出版社. 西藏自治区地图集[M]. 北京: 星球地图出版社, 2009.

引用格式: 王海庆, 李丽, 许文佳, 刘小杨, 周英杰, 汪洁. 西藏生产矿山在用土地面积遥感调查与分析[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(5): 146 - 150.

WANG Haiqing, LI Li, XU Wenjia, LIU Xiaoyang, ZHOU Yingjie, WANG Jie. Survey and analysis about using land area of producing mines in tibet based on remote sensing[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(5): 146 - 150.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)

(上接第 145 页)

品位为 13.05 g/t, 各种有价金属元素含量均很低, 其中锌、铜、硫以及金、银具有可综合回收的价值。

(2) 矿石中的目的矿物闪锌矿、硫化铜矿物集合体、黄铁矿的粒度分布不均, 且粒度差异较大; 其中闪锌矿和黄铁矿的嵌布粒度粗, 粗磨即可解离, 而硫化铜矿物集合体的嵌布粒度较细, 细磨才能解离。伴生金银矿物的粒度极细且与脉石矿物关系密切, 是影响其回收的最主要因素。因此, 应选择阶段磨矿阶段选别的原则工艺流程, 同时加强对细粒硫化铜矿物及细粒的金、银的回收。此外, 矿石中含有一定量的滑石以及绢云母等易浮、易泥化的硅酸盐矿物, 在浮选过程中需要注意对这些脉石矿物的分散和抑制以降低它们对浮选工艺的影响。

(3) 结合工艺矿物学研究成果, 通过浮选试验最终确定采用优先选铜、铜中矿再磨精选, 锌硫混浮再分选的工艺流程, 并将金、银富集于铜精矿中, 实现了矿石中锌、铜、硫以及金、银的综合回收。

参考文献:

[1] 方明山. 云南某铅锌矿矿石工艺矿物学研究[J]. 矿冶, 2011(1): 100 - 103.

[2] 方明山, 肖仪武, 武慧敏, 等. 某铅锌尾矿工艺矿物学研究

[J]. 有色金属工程, 2011(4): 33 - 35.

[3] 邱廷省, 解志锋, 黄雄, 等. 某铜铅锌矿工艺矿物学及选矿试验研究[J]. 矿冶, 2015(4): 89 - 93.

[4] 徐寒冰, 李茂林, 黄业豪. 广东某铅锌矿工艺矿物学研究[J]. 矿产综合利用, 2017(1): 76 - 80.

[5] 王伟之, 李学军, 陈丽平. 辽宁某铜铅锌多金属硫化矿工艺矿物学研究[J]. 金属矿山, 2014(2): 83 - 86.

[6] 龙卫刚, 冯富斌. 某铅锌矿重介质分选扩大试验工艺研究[J]. 云南冶金, 2016(5): 30 - 34.

[7] 薛晨 魏志聪. 云南某低品位铅锌矿铅锌分离试验研究[J]. 矿冶, 2017(3): 13 - 18.

[8] 杨晓文, 孙晓华, 贾宗勇, 等. 青海某低品位铅锌矿工艺矿物学研究[J]. 矿产保护与利用, 2014(5): 39 - 42.

[9] 王星, 王三海. 我国南方某复杂硫化铜矿石工艺矿物学研究[J]. 矿产保护与利用, 2015(4): 17 - 20.

[10] 《矿产资源综合利用手册》编辑委员会. 矿产资源综合利用手册[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[11] 王星, 王三海. 陕西省洛南铅锌矿工艺矿物学研究[J]. 矿产保护与利用, 2013(1): 19 - 23.

[12] 熊馨, 孙晓华, 黄秉熊, 等. 青海某砂岩型铁多金属矿工艺矿物学研究[J]. 矿产保护与利用, 2017(1): 72 - 76.

[13] 周乐光. 工艺矿物学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.

[14] 北京矿冶研究总院. 化学物相分析[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1976.

[15] 叶志文, 文书明, 王伊杰, 等. 都龙铁闪锌矿工艺矿物学研究[J]. 矿产保护与利用, 2018(1): 107 - 111.

引用格式: 方明山, 李艳峰, 付强. 安徽某低品位铜锌多金属矿工艺矿物学研究[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(5): 140 - 145, 150.

FANG Mingshan, LI Yangfeng, FU Qiang. Study on the process mineralogy of a low grade Cu - Zn polymetallic ore in anhui province [J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(5): 140 - 145, 150.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)